

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25887055

研究課題名(和文) P波振動極性の統計的性質とそれを考慮した高感度地震検出手法の開発

研究課題名(英文) Statistics of P-wave polarizations and its application to high-sensitivity earthquake detection

研究代表者

内出 崇彦 (UCHIDE, TAKAHIKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門・研究員

研究者番号：80713049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：P波振動極性の統計的性質 P波振動方位角は震央の方角と概ね一致しているが、特定の震央方位のときだけ著しい乖離を示している例があった。これは地震波速度構造の水平不均質によって説明できる。地震以外でも直線的振動が出てしまう問題があったが、地震時特有の高角の振動のみを地震検出に用いることで回避した。高感度地震検出手法の開発 2011年3月の岐阜県飛騨地方周辺の地震波形連続データに極性解析を施し、各観測点の結果から逆算して震央を推定することで地震検出を試みた。その結果、気象庁カタログに載っている地震の44%を検出することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Statistics of P-wave Polarity: The P-wave polarity azimuths are overall consistent with the back azimuth, but some of them deviates in case of specific back azimuth. This can be explained by horizontal heterogeneity of the seismic velocity structure. We found a problem that rectilinear motions are detected in case with no earthquakes, and solved by using high-angle motions only, since such noises are with low-angle motions. Development of High-sensitivity Earthquake Detection Method: We applied the polarity analysis to the continuous seismic data recorded in and around the Hida area, Japan. The results from the multiple stations are used for the estimation of epicenter which manifests the existence of earthquakes. We detected 44 % of events included in the JMA hypocenter catalog.

研究分野：震源地震学

キーワード：固体地球物理学 地震学 振動極性 時系列解析 地震検出

1. 研究開始当初の背景

微小地震は大地震に比べて非常に個数が多く、地震波速度構造や応力場を把握するうえで非常に重要である。通常、P波やS波などの到達時刻を手で検出し、多数の観測点の到達時刻を説明するような震源位置を推定する。作業効率を上げるには自動検出が大きな助けとなるが、例外的な波群も多く、容易ではない。特に、都市域のようなノイズの大きい地域では大きな問題である。

また、2011年東北地方太平洋沖地震直後には、地震波による動的な応力擾乱によって、数百キロメートルも離れた地域でも地震活動が誘発された。その場合、地震波の到来と共に多数の地震が発生している。複数の地震がほぼ同時に発生した場合、P波やS波などがいくつも観測点に入ってくるため、どの波群とどの波群を結び付けて震源決定をすればいいのか明らかではない。このような場合、地震波の伝播時間(走時)だけに頼らず、ほかの情報も用いる必要がある。

そこで、本研究ではP波の振動極性に着目した。P波は理論上、波の振動方向が伝播方向に平行であるため、各観測点での振動方向を逆にたどれば、震央(震源の水平位置)が求まるという仕組みである。このような手法は、使用できる観測点数が極端に少ない場合などに、手動で行われてきた。

本研究では、これまであまり使用されてこなかった振動極性の情報を自動処理に組み込み、地震検出の精度向上を狙ったものである。

2. 研究の目的

(1) P波振動極性の統計的性質の理解

P波振動極性がこれまであまり用いられてこなかった理由のひとつは、振動極性が地震波速度の不均質構造によって曲げられてしまうということであった。特に、水平方向の不均質構造によって、P波の振動極性と震央方位とにずれが生じてしまうのである。そこで、本研究では、数百個から数千個に及ぶ多数の地震の波形を使用して、P波振動極性の統計的性質を把握して、振動極性と震央方位の関係を求め、較正に利用する。また、振動極性の統計的性質を生み出す原因を把握し、地下構造等の理解につなげる。

連続データの振動極性も解析し、地震以外にも直線的な振動が得られることがあるかどうか、得られる場合はその原因と対策を検討する。

(2) 震央決定手法の試行

較正したP波振動極性に基づいて、震央を推定する。既存の地震カタログと比較して、その性能を評価し、改善策を練る。

(3) P波振動極性の有用性の検討

以上のような研究を通して、P波振動極性という情報がいかに地震学的に有用であるか、またはその限界がどこにあるかを探ることが、本研究最大の狙いである。

3. 研究の方法

本研究では高感度地震検出法の開発を行うが、この手法は大きく分けて、2つの部分からなる。ひとつは、3次元の地震波形の振動極性を計算によって求める部分である。もうひとつは、各観測点における3次元振動極性に基づいて、震央を推定し、地震の検出とする部分である。

(1) 振動極性解析

振動極性の計算はVidale [1986]による、複素解析信号を用いた3次元振動極性推定法を使用した。実部が原信号、虚部が原信号のヒルベルト変換となるような解析信号を作成し、0.5秒間の時間窓の中のデータについて、分散・共分散行列を作り、それを固有値分解する。最大固有値に対応する固有ベクトルが主たる振動方向となるが、ほかの2つの固有値と比較より十分大きい場合、すなわち信号が直線的である場合を検出する。直線的な信号が検出された場合、それがP波の入射である可能性があるとして、その後の地震検出に用いられる。

また、振動極性の統計的性質を把握するため、気象庁一元化処理震源カタログを使って、既に検出されているP波到達時から0.5秒間のデータを使ってP波振動極性を求めた。岐阜県飛騨地方とその周辺の観測点に対し、数百個から数千個の地震を使用した。方向統計学の手法により、振動方位角と震央方位角との差の平均と標準偏差を求め、系統的なずれとばらつきを把握した。

(2) 地震検出と震央推定

各観測点での振動極性解析の結果を受けて、地震の検出と震央推定に移る。対象地域にグリッドを敷き、各グリッドについて、P波走時、震央方向と振動方向との一致度合、信号の直線性を考慮してスコアをつける。一定以上のスコアが出た場合、地震の検出として、震央位置と発震時刻とともに記録する(図1)。なお、スコアの計算の際は、振動極性は、前項で求めたP波振動極性と震央方向との系統的なずれとばらつきを考慮に入れた。

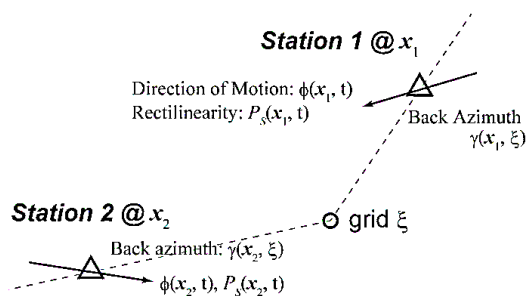


図 1: 各グリッド ξ について、各観測点の振動方向 ϕ と震央方向の方位角 γ との差、信号の直線性を示す P_s を勘案して、スコアをつける。

4. 研究成果

(1) P 波振動極性と震央方向との系統的なずれとばらつき把握

大多数の観測点では、P 波の振動方位角と震央方向角との差は 5 度程度であり、標準偏差は 10 度程度であった(図 2)。一部の観測点では、140 度などと大きい差が見られたが、これは設置方位がそもそもずれていることが原因であると考えられる。これらの観測点のうち、防災科学技術研究所の高感度地震観測網(Hi-net)の観測点については、同様の報告がなされている(汐見ほか, 2003; 汐見, 2012)。

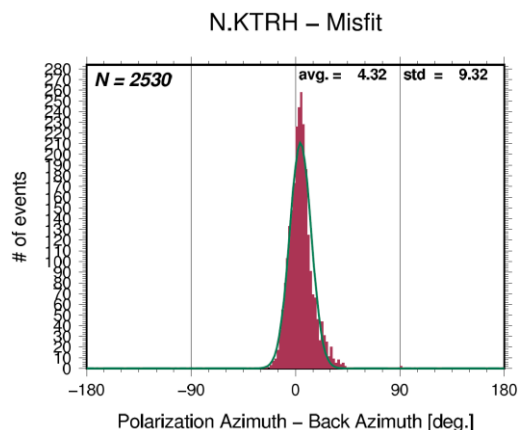


図 2: 防災科学技術研究所の高感度地震観測網(Hi-net)の上宝観測点(N.KTRH)における、P 波振動方位角と震央方位角との差の頻度分布。2530 個の地震を解析した結果である。緑線は、円周データにおける正規分布のような分布モデルであるフォン・ミーゼス分布による予測である。

特定の震央方位角で振動方位角と震央方位角との間のずれが大きくなるという現象も見られた。Hi-net 上宝観測点(N.KTRH)の場合、震央が -135 度から -120 度にかけての方位角にある場合(南西から西南西)、振動方位角は震央方位角から大きくずれる(図 3)。これは上宝観測点の南西側に地震波速度が低い領域が存在しているとする説明可能である。多数の

地震を解析することによって初めて、このような議論が可能になった。

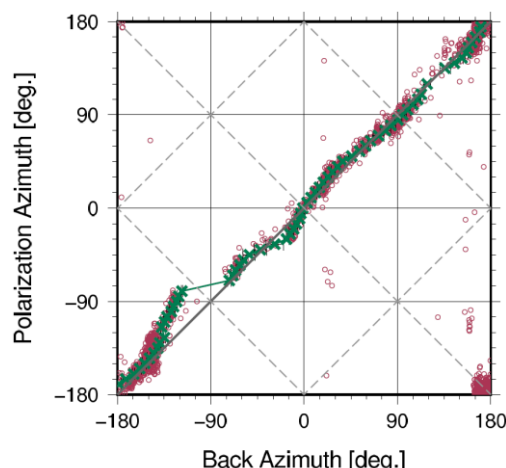


図 3: Hi-net 上宝観測点(N.KTRH)における、震央方位角(横軸)と振動方位角(縦軸)との比較。方位角はいずれも北を 0 度とし、時計回りに測る。赤丸が各地震の解析結果を表し、緑は各振動方位角に対して、震央方位角の中央値を示している。地震波速度構造の不均質がなければ、両者は一致するはずで、図の右上から左下にかけての対角線上に乗ることになる。そこから著しく離れている解析結果が、震央方位角 -135 度から -120 度にかけての範囲に見られる。

(2) 地震検出に利用できない直線的振動の性質とその回避方法

岐阜県飛騨地方周辺の 2011 年 3 月 11 日 0 時から 31 日 24 時まで(日本時間)の地震波形連続データに振動極性解析を施し、振動極性の性質を調べた。

直達地震波の後のコーダ波は直線的な振動が検出されることが多く、その際はさまざまな振動方位角及び振動伏角をとることが分かった(図 4)。コーダ波は振幅が徐々に小さくなっていくため、振幅が大きい直達波の情報を震央検出に用いればよいと考えられる。

地震発生によらず、直線的振動がほぼ常時検出されてしまうことがあることがわかった。このようなノイズの出方は、観測点によっても違うが、同じ観測点でも、時期によって違うことがわかった。直線的ノイズの振動方位角はまちまちであるが、振動伏角はおおむね 30 度以下の浅い角度のものが多い。一方、地下数 km 以下で発生する地震からの波は 30 度 \sim 70 度とより高角であることがわかった(図 5)。そのため、地震検出には伏角 30 度以上の高角のデータのみ使用することにした。

また、このような直線的振動の実態のひとつとして、特定の周波数周辺のみエネルギーを持つ単色ノイズが見られた。この原因と

しては、交流電気ノイズなどが考えられる。このようなノイズを回避する方法としては、複数の周波数帯で振動極性を解析し、多数の帯域で直線的振動を検出した場合のみ、震央推定に使用するという方法が考えられる。なお、この点については、複数の帯域における解析結果をどのように統合するかという点が詰め切れておらず、実装は完了していない。

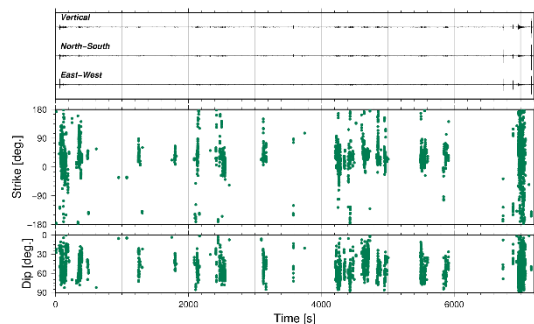


図4: 2011年3月11日0時から2時(日本時間)までのHi-net上宝観測点(N.KTRH)における地震波形(上段)、振動方位角(中段)、振動伏角(下段)を示している。振動方位角と振動伏角は、信号が直線的な場合のみ図示している。

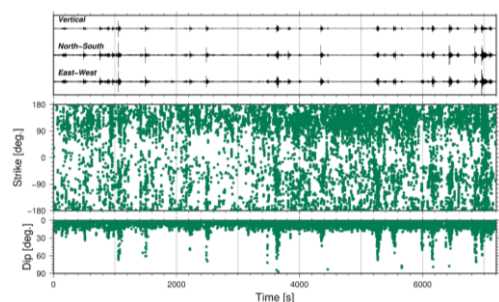


図5: 2011年3月11日0時から2時(日本時間)までのHi-net松本安曇観測点(N.MAZH)における地震波形(上段)、振動方位角(中段)、振動伏角(下段)。ほぼ常時、直線的な信号を検出しているが、地震と思われる波形がある部分では振動伏角が著しく高くなっていることがわかる。

(3) 既存カタログによる性能評価

開発した地震検出手法を、岐阜県飛騨地方周辺の2011年3月11日0時から31日24時まで(日本時間)の地震波形の連続データに適用した。その結果を、気象庁一元化震源カタログと比較した。期間中、気象庁一元化震源カタログには3417個の地震が掲載されているが、このうち1519個については本手法でも検出することができた(図6)。3月11日20時から12日8時までの間は、気象庁カタログには多くの地震が掲載されているものの、本手法による地震検出はひとつもなかった。

詳しく調べてみると、2011年東北地方太平洋沖地震からの地震波の何らかの要因によって、振動極性が擾乱を受けていることが確かめられた。大きな余震などによって地震波がほぼ常時入ってくるような状況であった可能性が考えられる。

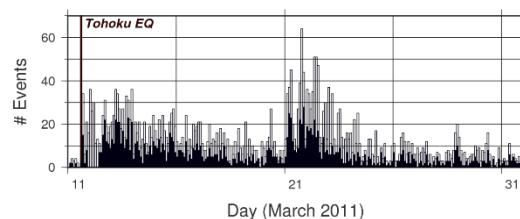


図6: 岐阜県飛騨地方で2011年3月11日から31日までの期間で発生した地震については、気象庁カタログに収められているもの(白抜き)と本研究で検出した地震(黒)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

内出 崇彦, P波振動極性を用いた岐阜県飛騨地方の地震の検出, 日本地震学会2013年秋季大会, C32-07, 2013年10月9日, 神奈川県民ホール(横浜市).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内出 崇彦 (UCHIDE, Takahiko)

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門・研究員

研究者番号: 80713049

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし